第Ⅲ部門　　多角形近似モデルの幾何形状が単杭の水平力学挙動に及ぼす影響の解明

摂南大学大学院　学生会員　○松村　大輝
摂南大学　正会員　寺本　俊太郎

1. 研究背景

杭基礎の水平力学挙動評価において，相互作用を精度よく再現できる 3 次元有限要素法（FEM）解析が広く活用されている．解析上の杭断面は，メッシュ分割の容易さと計算負荷軽減のため真円から正多角形へ簡略化されることが多い．

これが許容された背景には，曲げ剛性を一致させる等価剛性（**図-1**）と，1 次元モデル（**図-2**）において投影幅が同一なら地盤反力も等しいとする等価受圧幅の考え（**図-３**）があり，形状の差は設計上無視された．

しかし,3 次元 FEM 解析では，多角形断面の角部への局所応力集中による周辺地盤の塑性挙動過小評価リスクや，断面積の差による応力伝播への影響，群杭効果の評価精度への波及が懸念される．

そこで本研究は，正多角形近似の次数がマクロ・ミクロ両視点の挙動に及ぼす影響を体系的に検証し，数値解析手法の高度化を目指す．本稿では，次数を変えた単杭の数値解析結果について報告する．

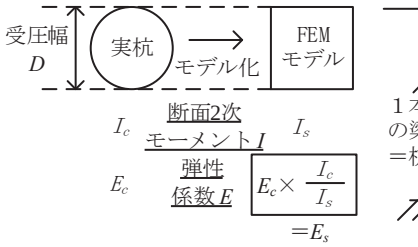


図-1 等価剛性の考え方

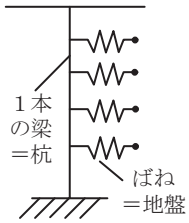


図-2 １次元モデル

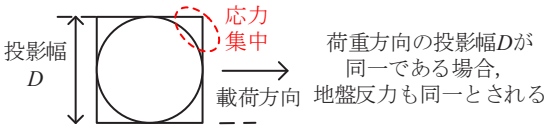
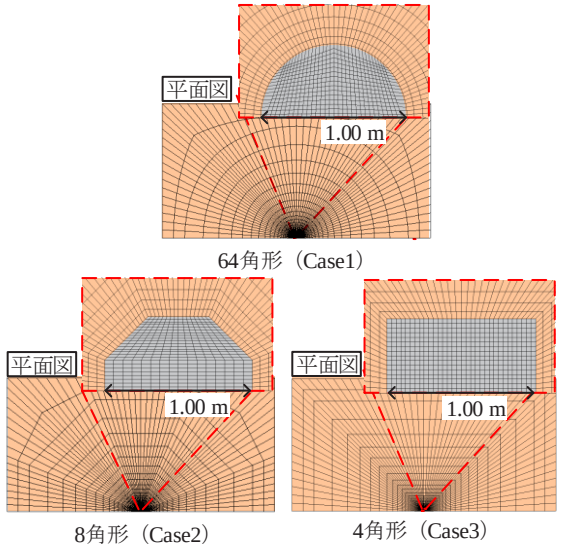
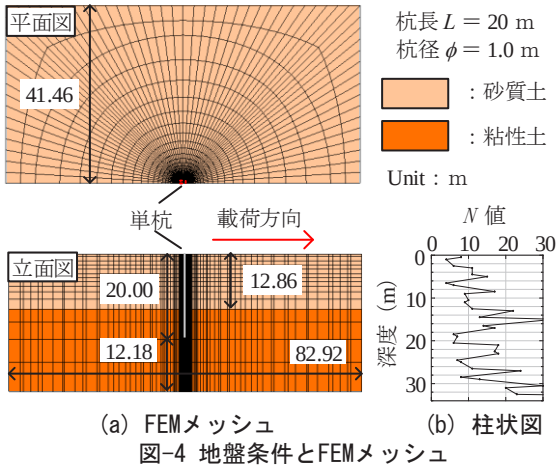


図-3 等価受圧幅の考え方





(a) FEMメッシュ　(b) 柱状図

図-4 地盤条件とFEMメッシュ

2. 研究概要

本研究では,3 次元弾塑性 FEM コード「DBLEAVES[1]」を用いた．**図-4** に地盤条件と FEM メッシュを示す．地盤は既往研究[2]の実地盤を再現し，構成則 subloading t_{ij} model[3] でモデル化を行った．杭は弾性ビームとコラム要素で表現するハイブリッドモデ[4]でモデル化を行った．載荷方法は，１方向単サイクルとし，杭中心に節点載荷を行った．検討ケースについて，Case1 は円形断面に限りなく近い 64 角形を基準とし，Case2 では 8 角形，そして Case3 では実務等で簡略化されやすい 4 角形としている．これらより，基準に

Taiki MATSUMURA, Shuntaro TERAMOTO
2552m115mt@edu.setsunan.ac.jp

対して，誤差の大きさや次数増大に伴いマクロな挙動の値が収束していく経過を確認する。そして，断面形状の違いによる角部への応力集中の影響を確認する．なお，各ケースの曲げ剛性は，同等になるよう弾性係数を調整した．

3. 解析結果

3.1 荷重変位関係

図-5 に，荷重変位関係を示す．最大荷重 2500 kN 時での変位量において，Case1 に対して，Case2 は 0.98 倍となり， 8 角形は真円の挙動を高精度に再現した．一方,Case1 に対して，Case3 は 0.92 倍となり， Case1 と比べて水平剛性が過大評価されていた．この原因は，外接多角形化に伴う杭の体積の増加が考えられる．真円に対して，4 角形は約 27 %断面積が大きく，進行方向の地盤を押し退ける体積が増加し，地盤反力の過大評価につながったと考えられる．つまり，幾何学形状の違いにより，周囲の地盤の応力状態に影響が生じたと考えられる．

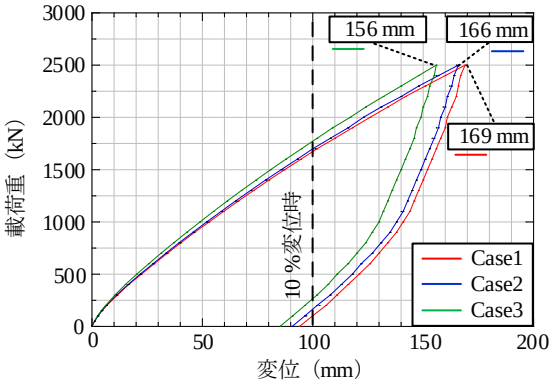


図-5　荷重変位関係

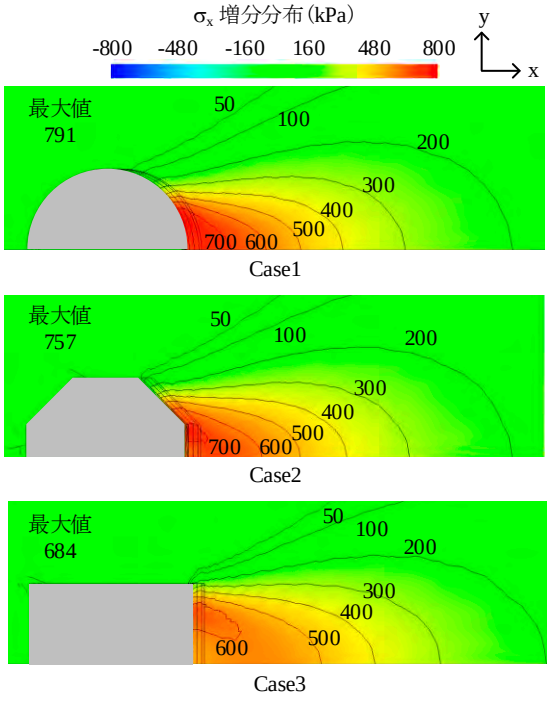


図-6　地盤内水平応力増分分布

3.2 地盤内水平応力増分分布

図-6 に，最大荷重時での地盤内水平応力増分分布を示す．基準となる Case1 と Case2 の応力分布図は，非常に類似していることがわかる．最大応力値は，Case1 に対して，Case2 は 0.95 倍であり，各コンター線（200～500 kPa 等）の広がり方もほぼ一致している．この結果は，8 角形モデルは，真円の荷重変位関係を高精度に再現できることをミクロな応力伝播のレベルから明確に裏付けるものである．

一方，Case3 は最大応力値が他ケースに比べて小さく抑えられている反面，中～高応力領域（例：300～500 kPa）が前方および側方へ広く押し出されるような分布となっている．これは 4 角形モデルが，載荷方向に垂直な広い平坦な面で地盤を押すためだと考えられる．最大応力は分散して低下するものの，広い範囲の地盤を同時に押し退かなければいけないため，より多くの土塊が抵抗することとなり，応力伝播範囲の拡大が生じたためだと考えられる．

4. まとめ

本研究では，単杭の水平力学挙動評価における杭断面の正多角形近似の影響を確認した．8 角形近似は，荷重変位関係および応力伝播を高精度に再現できる．一方，4 角形近似は外接化に伴う断面積の増加と平坦な載荷面により，応力伝播範囲が拡大し，水平剛性を過大評価するリスクがある．

参考文献

1) Ye ,et al：Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction of sand, Soils and Foundations, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007.　2)阪神高速道路道：岸和田旧港実杭水平載荷試験, 1994.　3) Nakai ,et al：A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, Soils and Foundations, Vol.44, No2, pp.53-70, 2004.　4) Zhahg ,et al：Mechanical Behavior of Pile Foundations subjected to Cyclic Lateral Loading Up to the Ultimate State, Soils and Foundations, Vol.40, No5, pp.1-17, 2000.